

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

第2857384号

(45)発行日 平成11年(1999)2月17日

(24)登録日 平成10年(1998)11月27日

(51)Int.Cl.
H 01 L 21/027
G 03 F 1/16
7/20
5 2 1

F I
H 01 L 21/30 5 4 1 S
G 03 F 1/16 B
7/20 5 2 1
H 01 L 21/30 5 1 5 D

請求項の数8(全16頁)

(21)出願番号 特願平9-209044
(62)分割の表示 特願平2-207723の分割
(22)出願日 平成2年(1990)8月7日
(65)公開番号 特開平10-74695
(43)公開日 平成10年(1998)3月17日
審査請求日 平成9年(1997)9月3日
(31)優先権主張番号 3 9 0 1 3 9
(32)優先日 1989年8月7日
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 4 9 8 1 7 9
(32)優先日 1990年3月23日
(33)優先権主張国 米国(US)

(73)特許権者 390035493
エイ・ティ・アンド・ティ・コーポレーション
AT&T CORP.
アメリカ合衆国 10013-2412 ニューヨーク ニューヨーク アヴェニュー
オブ ジ アメリカズ 32
(72)発明者 スチーヴン デイヴィッド バーガー¹
アメリカ合衆国 07928 ニュージャージィ, カザム, センター ストリート
35
(74)代理人 弁理士 岡部 正夫 (外3名)
審査官 国島 明弘

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 リソグラフィプロセスを含むデバイス製作法

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】 ビーム電子を発生する電子源(41)、該電子源により発生されたビーム電子により照射されるマスク(44)、該マスクを通過したビーム電子を受け電子レンズ系及び該電子レンズ系の背面焦面又はいくつかの等価な共役面上に位置するフィルタとからなるリソグラフィ描画装置において、該電子源は50kV以上の加速電圧によるビーム電子を発生するものであり、該マスクは描画パターンを形成する第1と第2の部分からなるものであり、該マスクを通過したビーム電子の散乱の大きさの程度が該第1と第2の部分との間で異なっており、該フィルタは該マスクの第1の部分を通過し該電子レンズ系を経由したビーム電子を阻止する第1の領域と該マ

10

スクの第2の部分を通過し該電子レンズ系を経由した電子ビームを通過させる第2の領域とからなるものであり、そして照射ビーム電子に関する電流密度 1×10^{-3} Amp/cm²での該マスクの散乱の程度の大きい方の部分における吸収電力は1 watt/cm²以下であることを特徴とするリソグラフィ描画装置。

【請求項2】 請求項1に記載のリソグラフィ描画装置において、該電子源の加速電圧、該マスクの散乱の程度及び電子レンズ系は該マスクの第1と第2の部分で散乱されたビーム電子の実質的な量が該フィルタに到達するよう構成されているリソグラフィ描画装置。

【請求項3】 請求項1に記載のリソグラフィ描画装置において、照射ビーム電子に関する電流密度 1×10^{-3} Amp/cm²で

2

の該マスクの散乱の程度の大きい方の部分における吸収電力は 0.001 watt/cm^2 のオーダ以上であるリソグラフィ描画装置。

【請求項4】 請求項1に記載のリソグラフィ描画装置において、該電子加速電圧は 100 kV 以上であるリソグラフィ描画装置。

【請求項5】 請求項1に記載のリソグラフィ描画装置において、該フィルタは 15 mrad 以上の散乱角に対して該マスクで散乱されたビーム電子を阻止するものであるリソグラフィ描画装置。

【請求項6】 請求項1に記載のリソグラフィ描画装置において、該マスクは低原子番号の電気的導体で被覆されているものであるリソグラフィ描画装置。

【請求項7】 請求項6に記載のリソグラフィ描画装置において、該電気的導体はアモルファスカーボンであるリソグラフィ描画装置。

【請求項8】 ビーム電子を発生する電子源(41)、該電子源により発生されたビーム電子により照射されるマスク(44)、該マスクを通過したビーム電子を受ける電子レンズ系及び該電子レンズ系の背面焦面又はいくつかの等価な共役面上に位置するフィルタとからなる装置におけるリソグラフィ描画方法において、該電子源において 50 kV 以上の加速電圧によるビーム電子を発生し、

該マスクが描画パターンを形成する第1と第2の部分からなり、該マスクを通過したビーム電子の散乱の程度が該第1と第2の部分との間で異なるようにし、該フィルタが該マスクの第1の部分を通過し該電子レンズ系を経由したビーム電子を阻止する第1の領域と該マスクの第2の部分を通過し該電子レンズ系を経由した電子ビームを通過させる第2の領域とからなるようにし、そして照射ビーム電子に関する電流密度 $1 \times 10^{-3}\text{ Amp/cm}^2$ での該マスクの散乱の程度の大きい方の部分における吸収電力は 1 watt/cm^2 以下であるよう該マスクを構成していることを特徴とするリソグラフィ描画方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】技術分野

本発明はリソグラフィ描画を含むプロセスによるデバイスの製作に係る。考察の対象とするデバイスは個別の中でも集積化されたものでもよいが、ミクロンかそれ以下の大きさであるパターン寸法や間隔に依存することを共通の特性とする。半導体集積回路は小さな寸法に厳密に依存し、将来は本発明により有利となると予想される。集積回路は次第に光デバイスを含むようになると予想され、これらも本発明の指針により進展するであろう。

【0002】用語の定義

本技術は科学的な意味とともに産業的に、必ずしも使用法が一定しない各種の用語を用いる。本明細書で用いるように、用語を定義することが便利である。以下の定義

は定義が最も必要であるとともに基本的に重要な領域である電子線リソグラフィに関してである。X線又は他の電磁放射に対しても、用語は同様に適用できる。

【0003】電子線投影リソグラフィ

マスクの少なくとも特定の一部を電子線で同時に照射するリソグラフィシステムは、そのような部分の投影像を生じる。考察するシステムは、加速された電子が照射されたマスクにより像を作ることに依存する。記述のほとんどは透過マスクに関してであるが、パターン形成は反射マスクによってもよい。用語はフォトカソードに光照射する際直接生じる加速されない低エネルギー電子による結像は含めないとしている。

【0004】ここで述べるシステムにより、パターン端部の荒れといった不完全さの影響を最小にしたり、あるいは単に必要な微細化を行うというように、マスクから像への縮小が可能になる。多くの用途に対し、縮小率は10分の1かそれよりも小さくする。拡大とともに、1対1の結像も可能である。

【0005】マスク

20 形状加工されていない電子放射により照射された時、そのような放射を最終的に照射面上(一般に製作されつてあるデバイスの表面上に)に、相対的に低及び高電子強度により規定された像を生成可能にする道具である。マスクは一般に特定の用途に対して考えられるが、結晶格子のような自然に発生する像-生成パターンで構成するかそれを含む可能性も考えられる。

【0006】便宜上、用語“マスク”は透過より反射を必要とする本発明の形で用いるようなパターン源を記述する時に用いられる。記述のほとんどを変える必要はないが、想像されるように、本発明の指針は反射マスクの使用を考えている。一般的な指針と同じく、分解能の程度は、散乱角に基づいて、像形成エネルギーを微分する(以下で定義するように)背面焦点面(back focal plane)に依存する。厳密にいうと、反射マスクモードは(“阻止”及び“透過”ではなく)“非反射”及び“反射”領域に依存する。以下で示されるように、反射マスクは透過マスクと同様に機能させてもよいが、条件は緩和される。反射マスクは光学軸上にないから、非反射は入射光の大きな割合を使う必要がなく、吸収又は用途によっては透過で置きかえてもよい。従って、極端な場合、反射マスクは鏡のように反射する反射領域と機能的に一致してよい。

【0007】阻止

たとえば、レジスト又は他の像形成材料に関して、デバイス製作において重要な像の中で一定の電子の減衰を生じるマスク領域。

【0008】透過

たとえば、レジストあるいは他の結像材料に関して、デバイス製作において、阻止領域に比べ相対的に小さな割合で、電子の減衰を生じるマスク領域。

【0009】吸収

一般に阻止領域に関して、照射エネルギーに対して透過したエネルギーの減少の程度を予測する特性。

【0010】散乱

一般にマスクを通過中のビーム電子に関し、材料を透過する間電子が経験する方向の変化。散乱は弾性又は非弾性で、多くの条件下では両方が現れる。非弾性散乱は対象とする電子エネルギーで吸収を起こす材料で最も明らかであるが、“色収差”すなわち波長の変化を起こす可能性があり、焦点距離、従って、像の質の変化を伴うことがある。

【0011】記述を容易にするため、“散乱”及び“非散乱”エネルギーについて、言及しておく。原則として、透過エネルギーは何らかの実際の材料すなわち散乱体を通過する時、ある程度の散乱を経験するが、それは小さい。しかし、透過エネルギーから離れると、原則として方向がある程度変化する。用語はリソグラフィ上重要な効果について、定義される。例えば、“非散乱”はいくつかのその後の開孔を選択的に通過する最大散乱角までの範囲を含んでもよい。

【0012】端部散乱

この用語は機構にかかわらず、阻止及び非阻止領域間の界面を通って伝達される電子をさす。（マスク面に対し垂直な）名目上垂直な界面を想定する通常の場合、影響を受けた電子はビーム外の方向へ移動する。散乱は弾性又は非弾性で、1つの原因でも、あるいは2つないしそれ以上の原因の結果でもよい。端部回折は通常いわれるよう、端部散乱に対する考えられる原因ではあるが、通常大きさは小さく、従ってリソグラフィ上の重要性はほとんどないか全くない。（考察の対象としているe-ビームリソグラフィでは、波長は最小バターン寸法に比べ下さい。）

【0013】背面焦点面フィルタ

同じ速度の電子に対し、異なる透過率の2つ又はそれ以上の領域をもつフィルタ。ここで用いるように、領域の選択は散乱に依存する。一実施例において、フィルタは“非散乱”（小角で散乱されたものも含む）電子選択的に透過させ、吸収体の形をとり、所望の散乱角の限界で決まる大きさをもつ開孔を有する。あるいは、フィルタは任意の所望の散乱角内の値に、散乱された電子を選択的に透過させるよう設計してもよい。フィルタの位置はいずれの場合も、対物レンズの背面焦点面かその付近あるいは結像系における任意の共役面かその付近になる。ここで用いられるような“背面焦点面フィルタ”という用語は、任意のそのようなフィルタ位置を含むものとされている。（少なくとも通常の円形の光軸上の開孔の場合）開孔寸法は入射放射を受ける最大角について述べられている。（数学的には、この角の正接は開孔の半径を、付随したレンズの焦点距離で割ったものに等しい。）

【0014】結像材料

投影像が内に生じる材料。一般に、一時的に使用する材料、たとえば“レジスト”が考えられるが材料は現像により反応又は未反応として、製作されるデバイス中に残ることはある。

【0015】最小バターン寸法

ここで用いるように、これはデバイス上で測定した時、通常生成されるパターン間の最小形状又は間隔である。議論されるように、これはデバイスの記述で通常用いられる。たとえば、“1メガピットチップ”は一般に現在の技術の半導体チップをさすが、それは最小バターン寸法が $\sim 1\text{ }\mu\text{m}$ 、すなわち電界効果トランジスタに含まれる任意のゲート寸法を意味する。

【0016】多数の他の用語が文献で用いられている。定義は複雑でしばしば変わるが、そのような用語は一般に最小バターン寸法をさしている。“設計ルール”というのは多くの場合同義語である。“最小線幅”は幾分異なった用語であるが、同義語に近い。そのような用語及び他の寸法に関する用語は、文献中で述べられているように、非常に注意深く解釈すべきである。

【0017】透過

マスク上に入射した強度に対して規格化した透明マスク領域に対応する像領域中の照射電子の強度。

【0018】像コントラスト

透明マスク領域に対応する像領域中の強度に対して規格化した阻止領域と透明マスク領域に対応する像領域間の照射電子の強度差。

【0019】端部鋭敏さ

阻止及び透明マスク領域に対応する像領域間の境界において測定した像コントラストの2分の1にコントラストが落ちる距離。

【0020】反射モード用語

当業者は本発明の指針を透過マスクではなく反射の使用に適用する上で、何の問題も持たないであろう。透過の場合と同様、用語のある程度の簡単化は迅速に行える。たとえば、実際の表面は真に鏡面の反射を生じない。透過モードの“透過”及び“阻止”領域に機能的に対応する領域間と同様、識別はやはり完全な鏡面反射からの角度のずれに関して行われる。背面焦点面フィルタは真的鏡面反射に比べ、許された角度変化内又は（逆のトーンの場合）それを越えて選択的に像規定情報を通過させる働きをする。記述を複雑にするより、多くは透過について述べるが、（透過とともに反射にも依存して）指針を一般的な感覚で受けとれるように信頼性を置く。

【0021】従来技術

重要な技術は1ないし複数のリソグラフィ描画プロセスを含むデバイスの製作に関するものである。現在この分野で最も重要なデバイスは、プロセスは他にも適用され、なお他の形のデバイスも将来見込まれるが、半導体デバイスである。現在の技術の半導体集積回路は、最小

パターン寸法は $\sim 1 \mu\text{m}$ で製作されている。そのようなデバイスは、たとえばエッチング、注入、拡散、堆積等の選択プロセスを行うため、ポジ形又はネガ形像を生じるよう設計された各種のリソグラフィプロセスを用いる。次世代のデバイスに対してとるべき方向とともに、設計とプロセスの展開については、“半導体リソグラフィの原理、実際及び材料”ダヴリュ・エム・モラン(W. M. Moreau)、ブレナンプレス、ニューヨーク、1988中に述べられている。

【0022】1センチメートル径で、最小形状寸法が $\sim 1 \mu\text{m}$ であるように作られた百万個までのデバイスを含むICを生成する典型的なプロセスは、たとえば吸収形マスクにより、近紫外放射の照射による露出及び現像に依存する。近接露光及び投影露光の両方が使用できる。将来のICを生み出すために、かなりの思考と実験が世界的に向けられた。近い将来の最小形状寸法の減少(最小形状寸法 $\sim 0.5 \mu\text{m}$)は、近紫外スペクトル中のより短い波長の照射に基づく同様のシステムに依存すると予想される。光学的設計やレジストの処理などの条件は、進んだ段階にある。

【0023】最小形状寸法 $\sim 0.35 \mu\text{m}$ までの次世代は、あまり進んでいない。リソグラフィの描画は遠紫外スペクトルにおけるより短い波長に依存するということは、かなり信じられる。

【0024】 $0.35 \mu\text{m}$ より小さい最小形状寸法及び $0.2 \mu\text{m}$ 以下の最小形状寸法に製作されたデバイスのようなその後の世代についても、すでに活発に研究されている。マスク製作の方式は、開発の非常に早い段階にある。そのような仕様で作られたデバイスの加工については、電子ビーム直接描画を用いた製作に基づいて、確立されている。(この“直接描画”技術は、生産性が比較的低いことが特徴で、たとえばメモリデバイスのような大量生産用に必要な要求を満足することは予想されない。)

【0025】この領域のデバイスを明確に市販用に実現することは、デバイスのマスク製作が更に進展することに依存することが認識されている。現在使用されている紫外放射の波長の限界が、結像用に使用できないことは明らかである。マスクからの像への縮小を用いることにより、そのような放射はマスクを通過することが可能であるが、この波長より小さな最小形状を規定するのには使用できない。適切な歩留りで信頼性よく生産するには、最小形状寸法のある程度の割合まで、更に波長を短くする必要があると信じられている。 $0.2 \mu\text{m}$ の最小形状寸法の場合、 500Å ($0.05 \mu\text{m}$)又はそれより小さな波長の放射が望ましい。この最後の領域における投影マスクの製作には、一般にX線スペクトル中の電磁放射を用いると考えられている。

【0026】適当なX線描画方式の開発は困難であった。それにもかからず、多くの障害を認識しながら

も、世界的に活発な研究により、進歩がみられる。主な問題は光源の輝度が限られていること、X線光学系がないこと及び吸収が小さいことである。最も進んだシステムはシンクロトロン源に依存している。

【0027】X線光学系の現在の開発は、近接露光の形をとることに最も力が注がれている。(それはマスク及び露出媒体の間を非常に近接させる必要性が生じる。)一例として、約10の場合、約 $10 \mu\text{m}$ のマスク-基板間隔を必要とする。この間隔の場合、マスクが破損する危険性が大きい。そのような機械が発表されているが、それは容易には市販生産には適用できない光源、マスク方式及び他の条件を用いる。たとえば、そのような試作機での露出時間は、典型的な場合、1時間以上の持続を必要とした。

【0028】かつて電磁放射の代わりに加速された電子を使用することに、かなりの努力が向けられた。そのような努力はe-ビーム直接描画とともに急速に進められ、電子光学とレジスト化学においてある程度の寄与をした。具体的な努力は米国、ドイツ及び日本で行われた。(ジャーナル・パキアム・サイエンス・テクノロジー(J. Vac. Sci. Technol.)第12卷、第6号、11月/12月、1975、“電子投影微細加工システム”、ジャーナル・パキアム・サイエンス・テクノロジー(J. Vac. Sci. Technol. B)16(6)、11月/12月、1979、“電子微細投影により生成した整合した多層構造”;第11回(1979)国際固体素子コンファレンス・プロシーディング、(Proceedings of the 11th Conference(1979) International on solid state Devices)東京、1979;ジャパンズ、ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス(Japanese Journal of Applied Physics)第19卷(1980)補遺19-1、47-50頁“非拡大電子投影システム”を参照のこと)この努力は70年代後半に最も活発に行われたと考えられるが、一般にその頃の通常の製作プロセスで得られる以上に微細化することに向けられていた。報告は一般に最小形状寸法を $\sim 1 \mu\text{m}$ から $0.5 \mu\text{m}$ レベルにすることに

40 向けられている。用いられる装置はかなりの進展を示し、確かに電子光学系及び位置合わせによる可能性とともに、適当な強度、従って適切な露出時間を生じる可能性を示している。

【0029】努力はほとんどの部分が(その当時及び現在可視及びUVリソグラフィ製作で用いられている)吸収マスクを利用した。X線製作に用いる型の膜支持構造は置換できることが後に示されたが、引用した研究はそれ自身で指示した開孔マスクを使用する(アイビーエム・テクニカル・ディスクロージャ・ブリテン(IBM Technical Disclosure Disclosure Bull.) (米国)、

50 ch. Disclosure Bull.) (米国)、

1977年12月、第20巻、第7号、2868-71頁、"支持フレーム上へのe-ビーム投影及びX線マスクの製作"を参照のこと)。

【0030】歴史的には電子マスク方式の主な目的は、近UVスペクトル内の波長の電磁放射に基づいたリソグラフィで十分満たされることか示されている。文献を調べると、更に、小さな最小形状寸法を得ようとする努力は、電磁放射の道筋に集中してきた(最初は遠UV、最後はX線)ことが示される。

【0031】最近はe-ビーム投影製作に向けられた文献はほとんどない。吸収マスクを用いる場合に必ず付随する色収差(及びある程度小さいが弹性散乱)は、X線の重要さを説明する。図4に関連して述べるように、吸収現象それ自身の(不完全な)性質に関連した必要な厚い吸収領域は、吸収領域の端部から電子を放出させる。付随した分解能の限界は、二つの機構のいずれかにより不適切に透過/阻止される電子の結果による。最初散乱された電子又はエネルギーの減少により方向が違った電子は、不適切に捕獲されたり除外されたりする。

【0032】従来の透過電子顕微鏡の歴史は、この議論に通じている。より微細な形状の分解能に対する変わらぬ要求には、設計の変更が伴ってきた。そのような小さな形状の分解能を挙げる高加速電圧と非常に薄い試料がその結果である。両方に低吸収ということが付隨し、その程度はパターンを解像するには不適切で、同様に重要なことは、"阻止"領域内の詳細を解像するために必要なグレイスケールを置きかえるのには不適切である。この問題に対する現在よく知られた解は、"散乱コントラストと透過電子顕微鏡"として知られた電子顕微鏡モードによる。このモードは試料を貫いて透過した時、電子が経験する散乱の程度に基づく結像に依存する。そのような結像は開孔のある背面焦点面フィルタに依存する。動作の原理はよく知られている。散乱されない電子は開孔の位置に依存して、選択的に透過又は阻止される。グレイスケールを適切に転写することは、散乱角に対する依存性による。

【0033】S C T E Mは否定できない重要さをもってきたが、吸収に基づく従来の結像では解決できないある種の問題も提供している。主要な問題は、開孔のサイズについてである。矛盾する設計上の要件が、小さな開孔寸法に明らかに依存する像のコントラストから生じるが、それは回折の限界により解決される可能性のある形状寸法を制限する。それにより、散乱コントラストが減少するよう開孔が拡大されることになる。その結果、たとえば位相コントラストに基づいた新しい結像方法が現れた。

【0034】電子顕微鏡の歴史は、典型的な場合 $\geq 10,000$ (恐らく $100 \times - 10^{\circ} \times$ の範囲内)の値への必要な拡大とともに、ここで述べているコントラスト及び寸法のような避けられない特性例で理解される。

【0035】本発明の概要

デバイスの製作及び得られるデバイスは、最小寸法 $1\text{ }\mu\text{m}$ 及びそれ以下の最小寸法形状を規定できる1ないし複数のリソグラフィ投影プロセスに依存する。本発明の方向は $0.5\text{ }\mu\text{m}$ かそれ以下のサブミクロン最小形状寸法を必要とする。本件で述べられるデバイスの例では、たとえば $0.35\text{ }\mu\text{m}$ 、 $0.25\text{ }\mu\text{m}$ 、 $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 及びそれ以下といった各種の最小形状寸法を必要とする。本発明はそのようなデバイスの製作に応用するのが適当である。製作プロセスはマスクを透過中、散乱に依存して、リソグラフィ的に規定したエネルギーを選択的に通過させることにより、ある本質的な程度まで影響を受ける像形成を必要とする。

【0036】(上で述べたように、便宜上記述は主として透過マスクを使用することについて行う。考えられる反射マスクの使用については、用いる言葉の意味を少し説明する必要がある。このモードにおいて、たとえば"選択的通過"というのは、(背面焦点面フィルタにより生じる角度変化内で)"鏡面反射"と等価なものまで含むと考えられるといったことである。)

【0037】重要な一連のそのようなリソグラフィプロセスは、"阻止"及び"透過"領域により規定されたパターンを含むマスクをビームが照射することに依存する。パターンは透過した照射エネルギーを、それぞれ大きな割合及び小さな割合で散乱させ、結像面上にパターンの転写を可能にする。散乱に依存する透過はフィルタ、一般に開孔フィルタにより、それはマスクの目標面に対し、レンズ系の(等価な共役面を含むよう規定された)"背面焦点面"上にある。そのように制限はされないが、この背面焦点面フィルタは、通常吸収性である。

(ここでの記述で用いられる他の用語と同様、"吸収性"というのは、リソグラフィ上重要なレベル、たとえば考へているプロセスにおいて、小さな割合で十分ならば、100%の吸収は必要ない)。レンズ系の光学軸上有るフィルタ開孔を投影すると、散乱されないエネルギーが選択的に透過することになる。すなわち、透明マスク領域を通して選択的にエネルギーを透過させることになる。散乱されたエネルギーを選択的に透過させるための相補的なシステムは、フィルタの軸上の領域を通過することを阻止する。選択的に散乱エネルギーを通過させるそのようなフィルタは、透明材料又は1ないし複数の開孔で囲まれた中心部の吸収領域の形をとつてよい。やはり、いずれかのフィルタは散乱の範囲に依存して、実際にエネルギーを通過させたり通過させなかつたりする。

【0038】適当なリソグラフィ的に規定されたエネルギーは、(たとえば構造材料及び厚さにおいて)適宜作られ使用されているマスクの上の用語では"阻止"及び"透過"領域により、散乱又は透過させられるような性質のものでなければならない。各種の形のエネルギー

11

が、この点からは適している。本発明で重要なことは、ミクロン及びサブミクロン形状寸法の規定に本質的に適した特性をもつエネルギーに基本的によるということである。好ましいシステムは適当な微細形状分解能を得るよう十分加速された電子に依存する。具体的な議論は50-200kV範囲内の加速エネルギーについて行う。最大加速はデバイス、すなわち結果的に生じる材料損傷によって制限されることが多い。一般に、より大きな加速では改善される。たとえば焦点の深さ及び浸透深さが改善され、デバイス設計の条件に依存して示される。本発明の製作システムは、たとえばX線スペクトルにおいて、電磁放射エネルギーとともに用いられるような生産上の利点が得られる可能性がある。本発明により一般的に考えられる電子ビーム投影方式は、先に加速された電子をマスクに最初に照射することを必要とするが、本発明には他の価値をもつ。たとえば、加速されない電子によりマスクを照射するためにフォトカソードを光照射することは、本発明の指針により利益を得る可能性がある。本発明のこの特徴には、先にマスクパターン形成された放射の加速が含まれる。背面焦点面フィルタにより得られる加速された電子は、焦点の深さ及び進入深さに関して、上で述べたような利点をもつ。加えて、背面焦点面フィルタは、散乱角に基づく変異によって、端部の鋭敏さを増す可能性がある。

【0039】本発明を用いる最も重要な点に近いことは、レジスト材料のパターン形成を含むことである。一般に高分解能又は低損傷のために選択される描画エネルギーは、加工される通常の材料のデバイス機能特性には、ほとんど直接的な影響を及ぼさない。このことは50-200kVの範囲又はそれ以上に加速された電子に依存するプロセスで、特に重要な点である。そのようにエネルギーを得た電子は局部的にはこの表面領域内で吸収されず、かなりの深さまで浸透するが、しばしば制作中の製品を完全に透過する。非常に低密度の損傷により誘導された欠陥が、デバイスの重要な特性の劣化を最小におさえることは、本発明の特徴である。

【0040】それにもかかわらず、本発明のあるものは、パターン形成された照射に基づくデバイス特性の直接又は間接の変化に依存する可能性がある。ある種のものは、同時照射とプロセスを含み、照射により選択的に導入される分解又は反応の結果、たとえば選択的堆積といったプロセス速度の照射依存性の変化を起こす。エッチング速度もまた、照射によりプラス又はマイナスに影響を受ける可能性がある。

【0041】本発明の方式は、近接露光及び投影露光の両方において、X線製作に比べ、明らかな利点をもつ。通常のX線システムにおいて、結像は吸収及び透明マスク領域を通過するエネルギー間の差に依存する。一般に探される最小形状寸法に適当なX線波長は、端部散乱による分解能損失を生じるのに十分な厚さのマスク中の阻

12

止領域を必要とする。背面焦点面フィルタを用いると、端部散乱による分解能の限界を小さくすることができる。この利点は、他の散乱-非散乱マスクシステムの場合と同様、他の形の電磁波を用いた吸収-透過マスクシステムの場合、特に重要となる可能性がある。この関係で、本発明の方式は、他のリソグラフィ技術の波長限界によっては除外されない最小形状寸法に基づいたデバイスの製作において、価値があることに注意すると有益である。たとえば、そのような寸法が1μmを超える場合ですら、選択的に散乱されないエネルギーを通過させる本発明の方式に固有の端部の鋭敏さが改善されるることは、たとえば迅速な位置合せの結果である可能性がある。0.2μm及び0.1μmという端部鋭敏さの値が、実験的に観察されている。

【0042】考えられているサブミクロン最小形状に適していることであるが、本発明の方式はその場観察に適している。たとえば、本発明の好ましい形に従う電子の結像は、真空雰囲気中で行うのが望ましい。これは結像の前又は後に行われる他のプロセスと一致する。例としては分子線エピタキシー及び化学気相堆積のような堆積プロセスがある。そのような両立性は装置を変えたり、真空を破る必要がなく、従って汚染を減らすため、デバイス製作に都合がよい。

【0043】本発明の指針の重要な部分は、デバイス製作及び得られる製品に関してである。主として、そのような説明では、適切に加速された電子方式を用いた少なくとも1つのレベルの結像について考え、基本的には散乱-非散乱結像に関してである。上で述べたように、一般的に100kVに等しいかそれ以上の加速電圧が好ましい。

【0044】電子結像を用いた製作プロセスは、電気的に行える（電磁放射パターン形成で共通して使われている機械的な支持台の移動を必要としない）位置合せ及び検査装置からその利点が生じる。主要な利点は焦点深さで、特に深さにより大きくなる。これらの組合せにより、結像が（エッティング除去で生じるような）段差のある表面上で行われるレベルを含む適切なデバイス製作が可能になる。100kVの電子で可能な焦点の深さは、μm以下の設計則で一般に用いられ考えられる1μm又はそれ以上の段差に、容易に適合する。

【0045】侵入深さはまた、1μm又はそれ以上の距離に適合するのに十分で、たとえば露出した垂直表面をレジストで被覆するように、プロセスを促進する。そのような利点は電子的露出が、材料（たとえばレジスト）の厚さに対し比較的依存しないことによる。

【0046】本発明の方式は偏光の必要はないが、必要ならば偏光が適切なこともある。たとえば、～0.4μmの設計則で行われているデバイスの製作において、金属の被覆を確実にするような時は、偏光が有用と考えられることがある。

50

13

【0047】 加速された電子結像に付随した“近接効果”に対して大きな注意が払われてきた。散乱された電子による好ましくない露出に起因する効果は、分解能と小さなパターン領域と大きなパターン領域間の露出の違いによる問題を生じることがある。走査ビーム描画においては、その効果による影響は、走査速度やビーム強度を変えることにより、減らせる可能性がある。本発明の投影リソグラフィにおいて、マスクの異なる領域では、パターン強度を変える形で適合させる。加速電圧の値を適切に選択することにより、その効果は小さくされる。製作上の経済性とともに歩留りの改善が、マスク又は基板のわずかなそりや位置合せ誤差の許容度が大きいことから得られる。

【0048】 実施例の説明

(1) 図面

図1

描かれている単一レンズシステムは、ビーム電子又は他の描画エネルギーを使用し、光線1と印され、阻止領域3と透明領域4を含むマスク2上に入射する。透明領域4を透過した光線は、光線1aと印され、阻止領域3を透過した光線は、光線1bと印されている。そのような光線はレンズ5により屈折し、現れた光線は背面焦点面フィルタ6に入射する概略的に描かれているように、光線1aはフィルタ開孔7を通過し、転写された照射領域10と非照射領域11から成る像9を生じる。臨界散乱角を超えて散乱された光線1bは開孔7を通過せず、代わりにフィルタ6の非開孔領域8で吸収されるか阻止される。

【0049】 図2

この図中に像を形成するように、散乱されたエネルギーが選択的に用いられる相補的なシステムである。ここで、散乱された光線1bは開孔17を通過し、一方透過した光線1aはフィルタ領域18により阻止される。像9のネガである像19は、領域21の選択的な照射から生じる。領域20は照射されない。考えている装置においては、背面焦点面フィルタは、(別の設計ではブレッギ散乱のような散乱の形を利用することもあるが)吸収性である。

【0050】 光線1cはエネルギーが阻止領域3内で散乱され、その結果完全に透過する前に逃げるように描かれている。この現象は、ここで原理を述べている本発明の方式、すなわち散乱-非散乱マスクに基本を置いた結像に依存する方式に対しては、非常に大きさは小さい。図5についての記述でわかるように、吸収-透過マスクで必然的に用いられるような、より厚い阻止領域の場合、統計的により起こりやすい。

【0051】 描かれているように、十分な角度の端部散乱は、光線1bの場合と同様、背面焦点面フィルタにより、阻止される。後に議論するように、光線1cは単一の弾性散乱又は1ないし複数のエネルギー吸収による非

14

弹性散乱の結果である可能性がある。非弹性散乱は、固有のエネルギー減少を伴い、色収差を生じ、開孔7に入る角内で捕獲される可能性、すなわちレンズ分散(エネルギー損失による焦平面の変化)による捕獲の可能性が統計的に減るというもう1つの可能性をつけ加える。

【0052】 意図することは明らかである。吸収に依存する結像システムとともに背面焦点面フィルタを用いることは、それにもかかわらず、本発明の指針によって利益が得られる。電子放射とともに、電磁放射の場合に、端部劣化、吸収像投影システムの制限は、軽減される。

【0053】 図3

コントラスト曲線30及び透過曲線31の形でここに示されたデータは、e-ビームシステムの場合について計算された値に基づいている。このシステムにおいて、175,000電子ボルトのレベルに加速された電子は、元素金の650Åの厚さのパターンを支持しているシリコンオキシナイトライドの0.5μm厚の膜から成るマスク上に入射する。そのような金阻止領域は、リソグラフィ機能全体に役立つが、間にはさまれた100Åのクロムの層は、固着性を確実にする働きがある。放射を選択するためのこの形の情報は、たとえばレジスト特性により適当な動作特性を選択するのに用いてもよい。(シリコンオキシナイトライドすなわち、この分野における多くの研究者に周知の材料についての記述に関しては、ジェイ・エル・ボサン (J. L. Vossen) 及びダヴィュ・カーン (W. Kern) 編“薄膜プロセス”アカデミックプレス、NY1978、299-300頁を参照のこと)。

【0054】 図4

30 この図に描かれた装置40は、電子又は他のエネルギー源41、コンデンサレンズシステム42、阻止領域44及び透明領域45を含むマスク43、対物レンズ46、軸上開孔48に有するように示された背面焦点面フィルタ47、投影レンズシステム49、両方で位置合せシステム53を構成する要素51及び52によって包含するよう示された露出媒体50を含む。装置40は真空容器54により完全となり、後者は試料の交換用である。

【0055】 描かれた装置は適切な光学系を説明するための基礎として役立つ。これらの例において、ここに含まれる基本的な原理を議論するために役立つことだけを意図した図1と比較すべきである。図4の装置は、別々のコンデンサ及び投影レンズシステムを有する。これは最小の機械的な調整で焦点を容易にする上で好ましい。プロセス中、マスク又はデバイスを物理的に移動させると、確実に装置の価格が増し、時間的にも不利になりやすい。更に、投影システム中に多くのレンズを用いる有利さがある。たとえば、2ないしそれ以上のレンズを用いることは、像の歪及び他の収差を補正し、像の回転をも制御するのに有用である。(エム・ビー・ヘリテージ (M. B. Heritage) : “電子-投影微細加工

15

システム”、ジャーナル・パキアム・サイエンス・テクノロジー (J. Vac. Sci. Technol.) 第12巻、第6号、11月／12月、1975、1135-1139頁を参照のこと)。

【0056】1.0 μm及びそれ以下の最小形状寸法でのリソグラフィ製作に関係している人は、縮小システムについて考えてきた。マスクの品質は改善され、像の劣化の原因は小さくなる。生じる不利に対して、利点はつりあいがとれなければならない。たとえば、半径方向の強度の低下、特に電子照射の場合、より大きなマスクを用いることにより、いっそう悪くなる。現在の開発段階では、これはステップーアンドーリピートを必要とすることがある。

【0057】装置の設計により、縮小及び1:1とともに像拡大が可能になる。一般的に上で述べた理由により、不利ではあるが、他の条件がこの方式を示唆している。自然に起こるパターンに基づくマスク、恐らく原始的寸法は拡大を必要とすることがある。

【0058】マスク43は電子源に対し、膜の下側にあるパターンを構成する阻止領域44を有するように示されている。これは“最上部-底部”効果により好ましい。(透過電子顕微鏡：像形成及び“微小解析の物理”、エル・ライマー (L. Reimer)、スプリンガーフェアラグ、1984、172-176頁参照)。

【0059】上で引用したエム・ビー・ヘリテージ (M. B. Heritage) を参照すると、電子光学系の開発状況が示されている。一般に、レンズ及び他の設計パラメータは非常に進んでいる。本発明の好ましい形に従う散乱形マスクの置きかえによる設計の変化はほとんど考えられない。

【0060】図5

図5は阻止領域61を支持する膜60を含むマスク部分の断面図である。この図の目的は、阻止領域内にリソグラフィ的に規定するエネルギーが経験する可能性のある各種の現象に関連した議論の基礎として役立たせることである。

【0061】阻止領域61中に透過させるべき膜60上に入射させる4つのエネルギー光線について参考する。光線62は単一の散乱現象66を経験し、阻止領域61から逃げるように示された端部散乱光線67を生じる。現象66は弾性的又は非弾性的でよい。光線63も単一の散乱現象を経験し、阻止領域61の厚さ全体を透過後出ていく光線69を生じる。現象68は61及びこの図に描かれている他の現象と同様、弾性的でも非弾性的でもよい。光線64は3つの散乱現象70、71、72を経験し、光線73を生じ、69と同様阻止領域61の下側から出る。光線65もまた、複数の散乱現象74、75、76を経験し、端部散乱光線77を生じる。

【0062】光線69及び73は本発明の各種の形の役割を果たす可能性のある散乱エネルギー光線を示す。光

16

線63が経験することは、本発明の散乱-非散乱結像が依存する現象を示す。本発明のこの形において、阻止領域61の材料及び厚さは、少数の弾性散乱に都合の良いように選択される。結像に重要な散乱の程度の統計的な確実さは、光線64に対して描かれた3回の衝突を起こすような設計の形をとるとよい。この統計的な確実さは、吸収マスクに必要な阻止領域に対し、薄い阻止領域と一致する。製作の観点から望ましい薄い阻止領域、温度の安定性等は、光線62及び65について描かれた端部散乱の可能性を本質的に減らす。

【0063】図1の光線1cについて述べたように、吸収に依存した阻止領域で起こるような端部散乱は、非弾性散乱による可能性が高い。部分的な吸収の結果であるエネルギー損失は、放射のエネルギーレベルを下げ(電子放射の場合、速度を減らす)、色吸収を生じる。議論されているように、光学システムを構成するレンズの周波数分散特性は、像平面上で移動するそのような放射を発生させる方向の変化を決定する。一般に、色収差は、影響を受けたエネルギーが軸上のフィルタ開孔が作る角20内で捕獲される可能性を増加させる。

【0064】図6

この図は反射モード中で使用するマスクを示す。透過モードと比較しやすいように、構成の透過マスクについて図1及び図2のプライムをつけない数字と対応して、プライムをつけた数字を用いる。この図において、マスク2'はパターン形成された領域3'を支持する基板4'で作られている。照射は光線1'で示されるように、平行にされた電子による。示された具体的な装置の場合、基板4'の自由表面は光線1'を鏡面反射し、反射光線30 1a'を生じ、一方領域3'は非鏡面反射を生じる(光線1b'は鏡面反射された光線1a'に対し、十分異なる統計的な角度の変化を発生させる。) 図示されていない装置の残りの部分は、図1及び図2に示されたフィルタと同様に、放射を鏡面的又は非鏡面的に選択的に通過させるよう背面焦点面フィルタに依存する。

【0065】加速された電子照射システム中の反射モードマスクについての設計の考え方は、知られている。たとえば、“透過電子顕微鏡：像形成及び微細解析の物理”、エル・ライマー (L. Reimer)、スプリンガーフェアラグ刊、1984、たとえば402頁を参照のこと。望ましい最小の侵入と両立する鏡面反射は、ブランク動作に依存する。一般に、基板4'の表面内で、図示されていない(たとえば~10°で使われる)。鏡面からの光線1b'のそれは、領域3'内の散乱の結果である。反射モードマスクとともに使用するための装置構成は、マスク2'と角度的に相補的な基板位置に依存してもよい(すべてのパターン上重要な光線の全透過距離を等しくする目的である)。たとえば、裏面をあわせたマスク及び基板を用いた別の装置は、用いる要素の追加が必要である。

【0066】図7

図7は好ましい実施例に従って製作されている途中のデバイスの一部を示す。この段階のデバイスは、基体80内に段差のある領域を含み、段差は段差表面81により相互に接続された水平表面83及び84から成る。描かれた段階において、そのような表面はたとえばレジスト82のような保護材料で被覆されている。この段階のプロセスでは、光線85a、85b、85cによる照射を伴い、この目的のためには、示されている平行になった電子は、100kVかそれ以上に加速されている可能性が高い。議論しているように、そのようなエネルギーをもった電子は、表面83及び84上で同時に考えている設計則を満たすよう、十分な焦点深度を得るために焦点をあわせてよい（たとえば0.4μmから0.1μmまでといったμm以下の設計則で製作されている考察中のデバイスの場合、典型的な段差の高さ81は1ないし2μmである）。

【0067】スピンにより生成すると便利であるレジスト層82の形は、厚さの均一性を犠牲にして、表面81、83、84のすべての面を確実に保護するような材料及び条件を用いる。本発明の方式の重要な利点は、遮断する材料82の厚さに関して、光線85a、85b、85cの露出深さに本質的に依存しないことである。

【0068】図8において、図7に示されたのと同じ製作段階になるデバイスは、偏光を含む別的方式で行われているように示されている。この時点で多くの人は偏光は好ましくないプロセスと考えるであろうが、～0.6μm及びそれ以下の設計則で用いられるように、他の人はそれは望ましいと信じる可能性がある。示されている段階において、デバイスは段差表面93-91-94を含む基体90を含む。偏光は材料92を用いると行うことができる。パターン形成は光線95a、95b、95cにより行われ、それらは焦点深さ及び侵入深さの両方の点で、考えている段差高さ／材料厚には依存せず、～100kVの電子により、平面93及び94上で同時に、たとえば0.2μmの設計則を満たすことができる。

【0069】(2)一般的事項

像の規定に加速された電子を使用することに依存する本発明の基本的な特徴は、プロセス及び製品の両方の点で、特別の価値をもつ。設計則が小さくなるにつれ、位置合わせは基本的な障害になると、多くの人が考えている。電子という荷電粒子を用いることにより、機械的ではなく電子的な像要素の位置制御が可能になる。そのような位置制御は、電界的なものと同様、磁界的なものを用いてもよく、既知の方法である。有用な位置制御機構については、エム・ビー・ヘリテージ(M. B. Heritage)により、“電子投影微細加工システム”ジャーナル・パキアム・サイエンス・テクノロジー(J. Vac. Sci. Technol.)、第12巻、第6

号、11月／12月、1975、1135-1139頁に述べられている。“位置制御”という言葉は、恐らく基板上のマークに対して、像の単純な移動（平行移動又は回転）とともに、同じマークを用いた縮小／拡大の程度も含むとする。荷電粒子と位置制御電界との間の相互作用は、各種の形をとつてよい。たとえば、信号の差に基づき、フィードバック電流を最小にする方式をとるようとしてもよい。

【0070】本発明の重要な利点は、加速された電子の等価な短い波長から生じる比較的大きな焦点深さに依存する。焦点のこの深さは、得られる電子的な侵入深さとともに利用すると価値がある。具体的には100kVかそれ以上の述べられている好ましい電圧範囲で加速された電子は、十分な侵入深さを示し、従来の投影システムで得られるよりはるかに大きな深さで、材料の描画一修正ができる。

【0071】焦点深度と侵入深さという2つの特性により、結像平面と基板表面の意図しない不適合（たとえば非平行、マスク及び基板の移動といった不適切さあるいはそったマスク又は基板による）に関して、利点が生じる。歩留りの利点あるいは時間／材料の節約も明らかである。

【0072】同じ特性は一般には0.5μm又はそれより小さい設計則に基づくデバイスの製作では得られないと考えられているプロセス方式が可能になる。遠紫外光の使用によるそのようなデバイスの製作は、“偏光”を用いることが予測されている。偏光は多くの形をとるが、焦点深度と描画フォトンエネルギーの侵入深さの制約を考慮するよう、一様に設計される。各種の偏光技術が用いられている。（“半導体リソグラフィ原理、実際及び材料”ダヴリュ・エム・モロウ(W. M. Moreau)、プレナンプレス、ニューヨーク、1988の第6章を参照のこと）。

【0073】本発明の方式により、偏光を用いない製作が可能になる。重要な特徴は、従来のプロセスで生じたような意図的な段差表面上の描画を含むプロセス工程の形をとることである。許された条件により、そのような表面に適合するある程度の柔軟性が生じる。加速電圧の選択に依存する電子速度の範囲により、所望の侵入深さを得るための条件の選択が可能になる（たとえば与えられた深さにおける露出といった所望の電子が誘導する相互作用の統計的な可能性による）。たとえば、100kV又はそれ以上の加速電圧を選択すると、通常考えられている段差の高さに等しいレジスト深さを通してレジストの露光が得られる。この効果は焦点の深さとともに、デバイス製作を補い簡単化する可能性がある。段差表面を加工する上で認識されている問題は、垂直な端部でレジストの厚さの均一性を保つことである。その問題は電子加速電圧を適切に選択することにより避けられる。過剰のレジスト材料を用いることは、通常深さと

にも厚さを増加させ、垂直端部の被覆の信頼性を増すが、ほとんど問題は生じない。

【0074】本発明のこの特徴により、偏光の必要性は避けられるが、偏光それ自身は適切であることは注意すべきである。従って、プロセスの複雑さをもつ多機能被覆（たとえば二層又は三層レジストにする）に頼ることは、必要ではない。段差表面が許容されることにより、もう1つのプロセス目標、すなわち、異なる平面上のパターンの同時描画に適合できる。

【0075】波長に対する焦点深さの関係は周知で、具体的に考察したり、更に詳細にこの件を知るために、標準的な教科書を参照されたい。そのような教科書の1つは、ローリングマン（Lorgman）（ノルヴィット1967）により発行された“幾何学的・物理的光学”、アール・エス・ロングハルスト（R. S. Longhurst）で、特に第14章に注意されたい。

【0076】回折により分解能が制限されている屈折率一定の媒体中で動作する適切な光学システムの場合の焦点深度に関する有用な方程式は、次のように与えられる。

【数1】

$$D = C \gamma \frac{\sqrt{4r^2 - \lambda^2}}{\lambda}$$

ここで、Dは、ある値（ここでは一般的に50%として議論する）だけ分解能を減す焦平面からの距離で表わした焦点深度である。

γ =電子ドーズが、ある値（ここでは一般的に50%として議論する）まで減される端部鋭敏さ-距離で表わした分解能。

λ は加速された電子の等価な波長で、

C=すべてが両方するユニットとなるようD及び γ を精密に定義することにより決まる一定の値。

この定義は光学システムについて述べているが、得られる電子の侵入深さは、考えている距離に亘って意図した反応の十分な均一性を保障するのに十分である。

【0077】本発明の指針は、波長による限界に基づいてのみ予測されるより大きな範囲を含む設計則についてである。上で述べた利点は、述べた範囲内に於ける大きな設計則において、光による描画より有用性を生じると期待される。一例として、段差被覆の容易さ、あるいは適切な偏光プロセスの容易さは、たとえば0.4μm設計則における紫外放射より優れていることを予測させる。

【0078】近接効果

“近接効果”という用語は、加速された電子パターン描画を含むプロセスにおける一連の重要な現象を表わしている。その現象は、散乱された電子、特に後方散乱された電子による露光による。散乱はレジスト又はパターン形成すべき他の材料あるいは基板材料内でよい。

【0079】加速された電子の後方散乱による“近接効

果”は、描画に対して2つの有害な結果をもたらすことが知られている。第1は、（たとえばレジストの）マスクされた領域内で後方散乱された電子が吸収されると、分解能の低下を生じる。このことは端部鋭敏さで測定され、可能な線間隔に限界をつくる可能性がある。下の基板からの後方散乱によるほとんどの場合、他の結果は領域内の電子密度の変化をもたらす。この露出の変化は面積に依存し、大きな面積ほどより大きな結果をもつ。

【0080】面積依存性の露出は、走査電子ビーム露光システムにおいて、単に電子密度の変化をプログラムするか、たとえば走査速度を変えることにより制御できる。マスク投影システムにおいて、マスクの厚さが密度を変えることにより、散乱入射を変化させれば、補償できる可能性がある。別的方式では、形状寸法に基づいて、マスクレベルを2ないしそれ以上の別々のレベルにわける。いずれの方式によても、面積依存性の補償は、より大きな面積に対しては露出を減すことによる。一例として、交差するのは、形状寸法が10μmより下か上かということであろう。有効な交差値は、経験によって決めればよい。

この分野の知識をもつ人は、この効果を加速電子によるマスクリソグラフィに対する重大な障害と訴える。事実、多くはよく出あう条件を適切に表わすと考えられるPMMA（ポリメチル・メタクリレート・ポジ形レジスト）とシリコン基板についての今日までの実験では、その効果は小さな結果をもつべきであることを示している。これまでの実験条件下で許される結果は、近接効果を補償するために調整する必要がない。プロセス条件又は材料特性がより大きな要求を生じる場合には、ここでのプロセスはその効果を補償するよう修正してよい。

【0081】この点についてのこれ以上の議論は必要ない。知識のある人は、その効果に対し、各種の方法で対処するであろう。たとえば、経済的に各レベル間のプロセスの違いを予測するであろう。たとえば、面積を基本にした分け方は、異なる電子露光密度に対する適応性の点で議論されているが、電磁放射はより大きな形状寸法（UV又は可視光ですら満たす可能性がある）に限定されたマスクレベル用として指摘されることもあり得る。

【0082】考察する製品

40 ハイブリッド回路とともに、フォトニック回路についても述べてきたが、議論は主に大規模集積の一般的な電子回路に関して行ってきた。本発明のプロセスはマスク製作にも同様に適用できると期待される。現在マスク合わせに要求される分解能の条件は、電子ビーム描画で満たされる。本発明の方式は実際のデバイス製作に用いるためのそのようなマスクの再生に、高価でない方法を提供する縮小の容易さに特に価値がある。端部の鋭敏さに対する要求という点から選択されたスケールのマスターマスクは、たとえば1:1の作製を行うため、より小さい寸法に複写される。そのようなマスクは別の形のバター

ン形成エネルギー、すなわち電子投影と同様UV又はX線とともに用いられるであろう。

【0083】本発明の進んだ点について、デバイスの製作という点で、議論するのが適切である。デバイスというのは、たとえば小さな最小形状寸法、高い充てん密度とともに、生産性及び歩留り等に基づいたそれらの価格に基礎をおいた動作特性で、関心のもたられるものである。製作プロセスの多くのものは、開発の進んだ段階にある。電子ビーム直接ビーム描画製作プロセスは、レジスト、位置合わせ技術及び本発明のe-ビーム投影システムに直接使用できるよう移せる他のプロセスを用いる。同じことはリソグラフィ的に規定するエネルギーの他の形を用いるプロセスにもあてはまる。X線は近接露光の点で最も進んでいるが、投影システムで用いるよう、さかんに研究されているところである。やはりX線レジスト、位置合わせ技術は知られている。近紫外及び真空紫外スペクトルの両方において、紫外投影システムは使用中あるいは開発中である。

【0084】本発明のすべて的方式に共通の唯一の点は、マスクにより導入された散乱の角に依存して、透過したリソグラフィエネルギーを選択的に通過させるということである。面フィルタは、透過されるエネルギーの形にかかわらず、この機能を果たし、これまで示されたように、恐らく散乱の程度に基づいて、(1)散乱されないエネルギーか、(2)散乱されたエネルギーを選択的に通過させてよい。ほとんどの目的に対し、散乱されないエネルギーを選択的に通過させるのが好ましい方式である。なぜなら、それは端部で散乱されたエネルギーの透過を本質的に阻止するからである。

【0085】機能的な点からは、面フィルタは、もし散乱されないエネルギーを選択的に通過させるよう設計されるなら、レンズシステムの光学軸上に開孔が配置される。一般に、フィルタ要素は吸収材料で構成され、阻止するためのこの特性(この例では散乱されたエネルギーを阻止する)に依存する。加熱、特に不均一な加熱は、開孔を移動させたり歪ませる重大な結果をもたらすことになり、そのため冷却又はヒートシンクを設けるとい。この問題はフィルタを水平に配置するか、開孔周辺の温度を均一に保つための他の注意により軽減される。

【0086】フィルタの設計原理は知られている(そして、散乱コントラスト透過電子顕微鏡に規則的に用いられている)。主として開孔径という点での設計は、単に散乱角に基づきエネルギーを選択的に通過させることを目的とするが、本発明の目的でもある。

【0087】本発明の散乱-非散乱方式の特徴は、マスク中の熱放射の必要性を小さくすることで、フィルタの信頼性を更に高くしている。恐らく ≥ 5 ワットの熱分散は、少なくとも軸上開孔を有するフィルタでは容易に得られる。マスクとは異なり、高熱伝導性の比較的厚い材料(たとえば銅又は他の金属)でフィルタを構成するの

が実際的である。

【0088】トーン反転

面フィルタを適切に設計することにより、同じマスクのトーン反転が容易に実現できることが示されている。この容易さは、パターン形成されない(平行な)入射放射に対し、散乱の程度が相互に異なるマスク領域の2つの基本的な形から成るマスクにより導入されるパターンに依存した本発明の好ましい方式に従い、実現される。その効果は電子放射に対して最も顕著で、従ってトーン反転はそのような本発明の特徴とともに用いるのが最も望ましい。

【0089】本発明の好ましい方式に従い、散乱-非散乱マスクを用いることは、トーン反転を容易にすることが知られている。透過電子顕微鏡において、ネガ像を生成する“暗視野結像”は面フィルタの開孔を軸上からずらすように動かすか、電子放射の入射を傾げることにより、達成される。上で引用したライマ(Reimeir)、“透過電子顕微鏡：像形成の物理と解析”を参照のこと。リソグラフィプロセスに移すと、この容易さにより、いくつかのプロセス上の改善が図られる。たとえば、トーン反転はネガレジストよりポジレジストを選び、ポジレジストを反転を伴うその後の製作工程に用いてもよくなるということを利用する。單一トーンのレジストを用い、プロセスを簡単化することそれ自身は望ましい。

【0090】考えているトーン反転は、フィルタの修正(適切に設計されたフィルタの再配置又は調整)又は照射角の変更の形をとっている。フィルタの修正はプロセスの要求からは、ネガ形結像の場合、中心開孔をずらす

30 という簡単な形はとらないことが最も望ましい。像の明るさは、端部の鋭敏さとともに、阻止軸上領域を囲む適切に設計された環状開孔で、ポジ形フィルタの中央の環状開孔を置きかえることにより、改善される可能性がある。環の半径方向の幅は、分解能を決める。なぜなら、それは通過した照射の散乱角の範囲を決める。環の内側の半径は、像のコントラストを決める重要な要因である。一般に、これによりポジ形フィルタの中央開孔の半径より大きな環の内径を用いることになる。環の面積は、ネガ形像の明るさを決める。他の設計上の考慮としては、レンズシステムの固有の収差について行わなければならない。

【0091】示されているように、本発明の指針に従う通常のモードでは、そうでなければ阻止(通常吸収)フィルタ中の小さな軸上環状開孔から成る面フィルタを用いる。開孔の寸法は、通過する(たとえば加速された電子の)最大散乱角を決め、寸法を小さくすると、回折の限界がくるまで、分解能は増す。

【0092】簡単化の点から、議論は“開孔”についてであり事実フィルタは真の開孔に依存するかもしれない。ネガ形フィルタ中でウェブを保持するというような

必要性を考えると、透明な“窓”に依存する別の構造が導入されるかもしれない。上で述べた設計上の考察は、そのような別の構造にもあてはまる。

【0093】ボジ形及びネガ形フィルタの最適な設計は、多くの考察に依存する。多くの要因が重要な役割を果たす。所望の像の明るさ、恐らくは2つの像間を等しくするという点において、恐らくはいくつかの指示された比という点において、恐らくは具体的な製作プロセスに必要な特定の露出という点において、それは支配的である可能性がある。レンズの不完全性もそれらの分布に応じて働きをもつ可能性があり、より小さいかより大きな開孔を選ぶことになる可能性もある。

【0094】“ネガ形”フィルタも原理的には使用できるが、照射角の変更によるトーン反転については、軸上の面フィルタを用いた例をあげて述べる。顕微鏡でよく用いられるように、単に傾けるだけで中空の円錐状照射ができる。ネガ形結像の動作の原理は、(a) 散乱されない放射がフィルタを通過しないような照射角、(b) 通過を起こさせるような阻止領域中の統計的散乱に依存する。中空の円錐状の照射は、照射システム中に環状フィルタを置くことによって、実現される。ジェイ・エム・ギブソン (J. M. Gibson) 及びエイ・ホーヴィ (A. Howie)、ケミカ・スクリプタ (Chemica Scripta) 第14巻、109-116頁 (1978/9) を参照のこと。フィルタの設計、特に環の半径方向の幅は、阻止領域中に導入された散乱の統計的な結果を近似するようになることが望ましい (照射角は散乱されない照射の進路に対するずれが、面フィルタ上でみて、阻止領域内の散乱により生じたものと近似できるようであると有用である)。散乱の確率はトーン間で本質的に不变であるから、上で述べた中空の円錐状照射は適切である。

【0095】中空の円錐状照射で明瞭な方位角の広がりを含む垂直方向に対する角度の広がりは、反転のいずれのモードに対しても、他の利点をもつ。多結晶マスク材料の場合、異なる微結晶に付随した散乱角の変化を平均化し、より一様に近い像の明るさを生じる。フィルタを変える必要性がなくなることから、プロセスの簡単化が生じ、通常それは利点である。

【0096】マスク

本発明に用いるのに適したマスクは、面フィルタにより選択的に通過又は阻止するため、散乱の十分小さな角を与える領域に、不变的に依存する。マスクについての重要な設計上の考察は、必要な分解能に適切な開孔寸法は、通常の透過電子顕微鏡のはるかに大きな要求に対して必要とされるものと同程度に大きいということを観察することに依存する。透過マスクの場合、この観察により、多くの条件下でマスクに十分厚い透明領域をもたらし、それはそれ自身を支持するとともに、要求されるほとんどの条件下で、十分安定な寸法をもち、すべて入手

できるレジスト及び予測されるレジストに対する迅速で短時間の露出と両立する。実験によると、0.3 μmないし0.7 μmの薄膜の厚さは、100 kV及び175 kVの電子にそれぞれ十分透明で、650 Å厚の金阻止領域に依存して、散乱-非散乱システムで70%-95%のコントラストが得られた。

【0097】一般に、本発明のプロセスは“薄いマスク”に依存し、それは厚さが1 μmである透明領域を有するマスクを意味する (通常これはその厚さの支持薄膜に転写される)。精密な厚さは多くの要因に依存し、その基本は薄膜材料の性質と放射エネルギーである。S₁, N₁ 中の100 kVの平均自由行程は、約600 Åである。構造の安定性を望むと、薄膜の厚さは10入のオーダー (10回の散乱を起こさせる厚さ)、許容される最大厚さは~30入となる。(上で引用した“透過電子顕微鏡”8-11、138頁を参照のこと。ここで記述は、比較的高い散乱阻止材料を支持する相対的に低散乱角の薄膜材料を例にする。一般的には、そのような規定で、入手できるレジスト材料に必要な程度のコントラストは確実に得られる。

【0098】他の型のマスクについては、技術的な文献に述べられている。ジャーナル・パキアム・サイエンス・テクノロジー (J. Vac. Sci. Technol. L.) 第12巻、第6号、(1975) 1135頁に述べられている研究報告は、自己支持フォイルマスクに依存する電子ビーム投影システムについて述べている。

【0099】吸収マスクに必要なものに比べ熱放散の必要性を減らすことは、散乱-非散乱方式を用いることにより、実現される。たとえば、 $1 \times 10^{-3} \text{ A/cm}^2$ の電流密度において、マスク中で吸収されるパワーは0.001 w/cm² のオーダーである (あるいは、比較のため、同じレジストの露出の必要性を仮定すると、吸収マスクは~1 w/cm² の放散を必要とする)。

【0100】電荷を帯びることは、少くとも散乱-非散乱の場合、重要な問題とはなりにくい。もし必要ならば、アモルファスカーボンのような低原子数導電体でマスクを被覆してもよく、リソグラフィの特性にはほとんど影響はない。マスク：像の縮小モードを利用すると、マスク制作中直接描画を避けることが可能である。1
40 0:1の縮小により、像平面中に0.2 μmの最小形状を得るために通常の電磁(UV)マスク製作が使用できる。

【0101】リソグラフィ規定エネルギー
図3は175 kV電子に基づく、他の実験は~0.2-0.35 μm製作 (最小形状寸法)での使用に適した少くとも200 kVまでの電子エネルギー範囲を示唆している。本質的に低いエネルギー (~50 kV以下) は時には適切であるが、そのような最小形状寸法に対しては、分解能の限界となりうる。本質的に高いエネルギーは一般に不需要であり、少くともここで考えてい

50

る形状寸法では不必要で、それに伴う経費増は正当化されない。

【0102】入手しうる電子源は、多くの考えられるプロセス上の要件に合っている。現在のチップ製作において、チップ全体を同時に照射することを仮定すると、電子源は強度及び均一性の点で、 $2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ のチップを照射する能力を持つはずである。これらの条件は得られる。たとえば、典型的な 100 kV 透過電子顕微鏡中のヘアピントングステン・フィラメントエミッタは、約 $100\mu\text{A}$ の全放出電流を放射でき、 $2 \times 2\text{ cm}$ の像面積上で $2.5 \times 10^{-3}\text{ A cm}^{-2}$ の電流密度を意味している。100 kV の加速電圧における PMMA を用いると、露出はこの電流密度において、 < 100 秒で行うべきである。以下では分解特性とともに、e-ビームレジスト感度について述べる。

【0103】より高い強度源が入手できる。電子ビーム溶解で用いられる大面積熱エミッタは、0.5 A かそれ以上の電流で放出する。より高感度なレジストとともに用いると、考えているシステムは露出時間では制約されることはない。1時間当たり 40 ウエハの生産が可能である。より大きな生産性は、他の考査すべき点、たとえば試料の交換及び位置合せにより制限されている。

【0104】現在入手しうるレジストは、電子源により得られる適合特性に対し、平坦性とコントラストをもつ。 $\sim 10\%$ の時間依存性及び位置依存性両方の輝度変化は、典型的なシステム/レジスト条件にあうと予想される。実効的な位置の不均一性は、露光中のビームの振動を減らすことにより、小さくできる。電磁的又は静電的な偏向システムが、この目的に適している。電子照射は分解能を制限しないよう、十分平行かつ垂直（十分な脱心性）であるべきである。このことにより許容角度変化は $\sim 1\text{ mrad}$ となり、得られる。

【0105】結像装置

特性は図 1 及び図 4 に関連して一般的に述べた。散乱角に基づく選択的透過に関連した規定を除き、条件はよく知られている。投影 e-ビームシステムに関する論文は、ジャーナル・パキアム・サイエンス・テクノロジー (J. Vac. Sci. Technol.) 第 12巻、第 6 号、1135 頁、11月/12月、1975、ジャーナル・パキアム・サイエンス・テクノロジー (J. Vac. Sci. Technol.) 16(6)、11月/12月、1979、上で引用、及び第 11 回固体素子国際カンファレンス (1979) プロシーディングズ (Proceedings of the 11th Conference (1979) International on Solid State Devices) 東京 (1979)、上で引用、に含まれている。これらのシステムは吸収マスクに依存しているが、それは図 4 に描かれた要素の設計に関しても、かなり詳細に述べている。UV (近UV 及び真空UV の両方) とと

もに用いるためのシステムは、市販用か開発の進んだ段階にある。（ダヴリュ・エム・モロウ (W. M. Moreau) により “半導体リソグラフィ原理、共通的な実際及び材料” ブレナンプレス、ニューヨーク、1988 を参照のこと）。

【0106】電子光学系の認識されている欠陥により、明らかな像の歪と収差が生じる。レンズの収差はリソグラフィ上は重要であるが、適切な設計により避けられる。多レンズシステムにおける歪と収差は、補償レンズにより軽減できるが、サブミクロソーリソグラフィには問題が残る。レンズ間での重大な収差の大きさに関して、薦められる方式は、各デバイスのプロセス依存性のすべての描画に対し、単一の投影装置を用いることである。しかし、毎日のプロセスでこれを用いることは現実的でない。単一の装置中におかれたマスクのすべての部分を印刷するのに、それは有用であるかもしれない（特に 1:1 のマスクセットの製作の場合）。このようにして、パターン全体では歪んでも、十分な精度で局部的にチップ形状を位置合せすることは可能である。

【0107】エイシーエス・シンポジウム・シリーズ (ACS Symposium Series) “マイクロリソグラフィ入門”、ISSN 0097-6156: 219 (1983) はレジスト組成及びリソグラフィプロセスの優れた調査一覧を含む。シー (Se) 編の “VLSI 技術” マグローヒル、オークランド、1985 は、デバイス製作に適した技術的材料を示している。

【0108】結像材料

これまで述べたように、本発明の重要な形は加速電子又は電磁放射に感度をもつレジスト結像に依存する。以下の議論は主として加速された電子放射に関してであるが、一般的に他のレジスト及び直接プロセスに適用できる。

【0109】生産のためには、レジストには特定のドーズが必要であるといわれている。電子レジストの場合、ドーズの単位はマイクロクロトン/ cm^2 である。指定された値は、一般にたとえば $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ といった “大面積” 露出に対して必要なものである。その説明は、影響を受ける厚さを決めるために必要な測定という形による。一般に、測定装置はそのような面積を必要とする。実験によると、本発明のミクロ又はサブミクロ形状に基づく製作は、（近接効果が減少したため）具体的なドーズの約 2 倍が必要であることが予測される。

【0110】ポジ形レジストの場合、最小ドーズは通常指定されるように、一般に露出されない領域の厚さがほとんど失われないか全く失われずに、露出された領域が照射されるようなものである。ほとんどの目的の場合、露出されない厚さの 70% - 80% が保持されれば十分で、生産上指定される範囲内である。ネガ形レジストの場合、指定されたドーズは、通常露出された領域の薄膜

50

の厚さの～50%が保持される。

【0111】市販のレジストのコントラスト特性は具体的に示され、しばしば軸にコントラストバーセントとドーズをとり、グラフで示される。曲線の形は通常低ドーズの場合ほぼ水平な小さな傾きで、次に通常の露出条件の領域で急に傾斜が増し、最後に飽和レベルでほぼ水平になる。

【0112】現在の技術におけるレジスト組成、特にe-ビーム用について述べているものとして、2つの技術論文を引用するのが適当である。(ソリッド・ステート・テクノロジー (Solid State Technology) “レジスト研究の先端” エム・ジェイ・ボウデン (M. J. Bowden)、1981年6月、73-87頁及びニュアル・レビュー・マテリアル・サイエンス (Ann. Rev. Mater. Sci.) “マイクロリソグラフィ用ポリマ材料”、1987、237-269頁を参照のこと)。この情報及び他の情報から、本発明で使用するのに適した各種のネガ及びポジトーンレジストが、入手可能か開発中であることがわかる。少くとも0.25 μmの分解能をもつ市販のレジストの例には、ネガトーンのクロロメチルスチレン及びポジトーンのノボラク・ポジ形・レジストが含まれる。

【0113】実験結果

これまでの記述で明らかな特性は報告されている具体例に基づいたり、あるいは物理的原理に基づいて計算できるが、検証のため実験を行った。これまでの議論で多く述べたように、報告されている研究は、本発明の目的のために必要な特性の適切さを示すのに十分である。加速された電子を用いる好ましい本発明の方式は、あまり見出されない。実験は主として電子リソグラフィに適用してそのような特性を確認するという点で行われた。

【0114】通常の半導体材料中の損傷を発生させるのに必要な加速電圧は、文献中に述べられている。2つの機構が基本的に重要である。すなわち、イオン化損傷と運動量の移動による損傷(“ノックオンダメージ”)である。最初の機構がデバイスの結果を減らす可能性があるのは、比較的高い加速電圧を用いたときに固有である。イオン化損傷はより大きな進入深さまで分布しており、そのため損傷密度は減少し、デバイスの結果に影響を与えるレベル以下であることが多い。デバイス機能を果たす材料以下の深さで、ある程度まではそのような損傷は発生することが期待される。

【0115】第2の損傷機構は、エネルギーの閾値(加速電圧の閾値)を特徴とする。閾値は知られている。シリコンについて報告されている値は～190 kVで、化合物半導体III-V、II-VI及び高次材料の場合、質量が大きいため、閾値は一般に幾分高い。従って、実験を行い、そのような閾値またはそれ以下の加速電圧が便利であることは、重要である。この研究の報告において、本発明をこれらの例に限定することは意図さ

れていない。損傷についてのそのような検討は、デバイスの結果には通常ほとんどあるいは全く影響を及ぼさない。上で注意したように、本質的に閾値以上の加速電圧を用いることは、損傷に付随した効果を利用するため設計してもよい。

【0116】実験は入手しうるレジスト材料について必要な放射ドーズという点で可能性を明らかにするために行われた。やはり電子放射の例では、そのような値は直接電子ビーム描画(一般に～20-30 kVの加速電圧を用いる)に関連して、よく知られている。本発明の投影リソグラフィ方式は、より高い加速の使用から生じる分解能の改善を利点とする。従って、実験は加速電圧に対するドーズの依存性に向けられた。一組の実験では、ポリメチルメタクリレートすなわちほとんどの直接描画製作で共通的に用いられているポジトーンeビームレジストを扱った。加速電圧を25 kVから200 kVに増すと、必要なドーズは約10×になることが見出された。上で示した参考書や技術論文を参照すると、市販レジストとともに開発中のレジストのアレイの有効性が示され、多くはPMMAより本質的に高い感度をもつことがわかる。

【0117】マスクの可能性は明らかになっている。たとえば、厚さが0.1 μmより小さな支持された元素金阻止領域に依存した薄膜の厚さは、100 kV及び175 kVで加速された入射電子放射に露出された時、適切な分解能とコントラストの像を生成した。図3中に示されたデータの形は、理論に基づいて計算した。実験データは一貫している。80%-10%/60%-90%という実験的に決められた透過/コントラスト値は、報告されたものとしては、～80 mradまでの範囲の開孔角に対応した。

【0118】15 mradの角度で保持された面フィルタ開孔を用い、175 kVで行われた実験は、～100そのような像は4000のトーン反転は面開孔を、軸上から～20 mradだけ軸からずらすことにより行った。像のコントラストは、軸上の約90%であった。測定されてはいないが、相補的な像は、ほぼ同じコントラストをもつことがわかった。

【図面の簡単な説明】

40 【図1】散乱されないエネルギーを選択的に通過させるよう設計された面フィルタの動作の原理を概略的に示す図である。

【図2】図1と非常に似ているが、散乱されたエネルギーを選択的に通過させる相補的なシステムの動作原理を概略的に示す図である。

【図3】縦軸はコントラストと透過の単位で、横軸は角度の単位で、2つの軸の量は“透明”マスク領域を透過したエネルギーを、選択的に通過させるよう設計された面フィルタの許容角度を関係づける図である。

50 【図4】本発明とともに適切に用いられる投影システム

の概略図である。

【図5】阻止領域内で経験する散乱の幾つかのタイプを示し、“端部散乱”されるか領域の下側から出る時散乱されるエネルギーを発生させる非弾性散乱とともに、弾性散乱の効果を示すための図である。

【図6】たとえば図1に描かれたシステムにおいて、透過マスクに置き換わる可能性のある反射マスクの一部分を概略的に示す図である。

* 【図7】電子結像が段差表面上で行われる制作中のデバイスの一部を概略的に示す図である。

【図8】図7と同様に、偏向表面で行われる結像を概略的に示す図である。

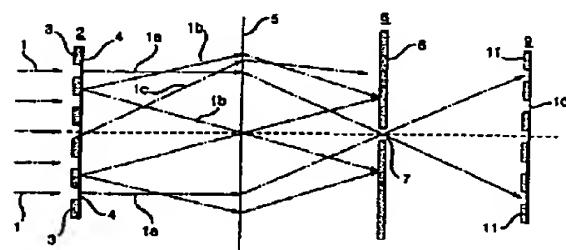
【符号の説明】

2 ····· マスク

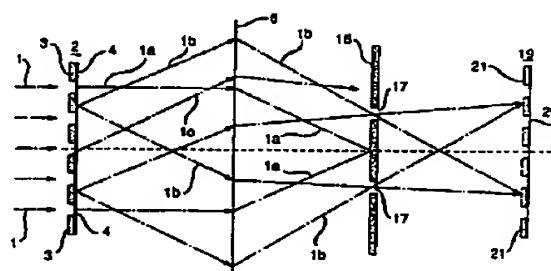
5 ····· レンズ

* 6 ····· フィルタ

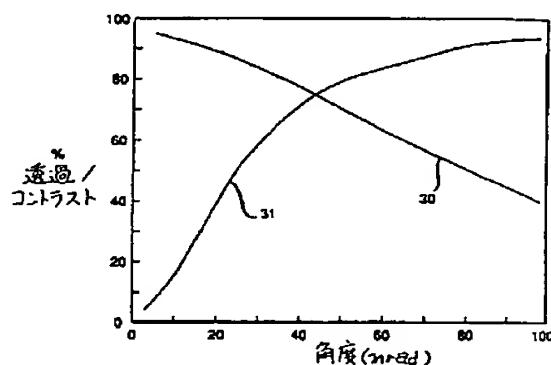
【図1】



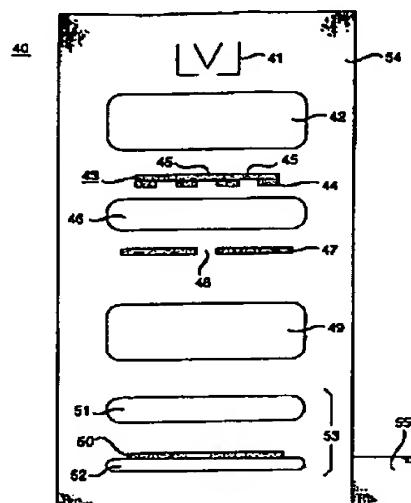
【図2】



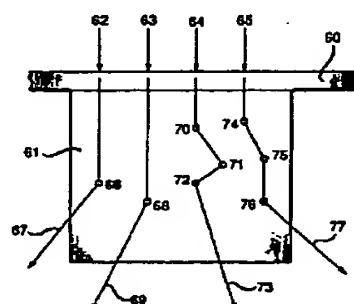
【図3】



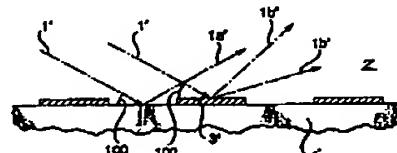
【図4】



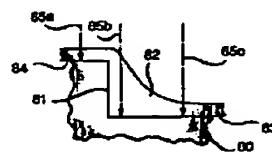
【図5】



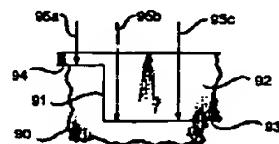
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 ジョン マレイ ギブソン
アメリカ合衆国 07960 ニュージャー
シィ、モリスタウン、ブラックベリー
レーン 30

(56)参考文献 特公 平8-34169 (J P, B2)

(58)調査した分野(Int.CI., D B名)
H01L 21/027